

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ
KATEDRA OBRÁBĚNÍ A MONTÁŽE

Sledování elektrického odporu odporové vrstvy
inteligentního nástroje

Monitoring Electrical Resistance of Resistor Layer of
Intelligent Tools

Student:	Vlastimil Hloušek
Vedoucí bakalářské práce:	Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání bakalářské práce

Student: **Vlastimil Hloušek**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Specializace: 70 Strojírenská technologie
Téma: Sledování elektrického odporu odporové vrstvy inteligentního nástroje
Monitoring Electrical Resistance of Resistor Layer of Intelligent Tools

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Teoretický rozbor experimentu.
3. Zpracování naměřených hodnot.
4. Vyhodnocení experimentu.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] KOCMAN, K.; PROKOP, J. *Technologie obrábění*. Brno : Akademické nakladatelství CERM s.r.o. Brno. 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
[2] VASILKO, K.; NOVÁK-MARCINČIN, J.; HAVRILA, M. *Výrobné inženýrstvo*. Prešov : Datapress Prešov. 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
[3] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABÁČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. s. 343. ISBN 978-80-8070-711-8.
[4] HUMÁR, A. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. Brno : CCB, s.r.o. Brno, 1995. 265 s. ISBN 80-85825-10-4.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011


doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce, uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 18. 5. 2011

.....

Vlastimil Hloušek

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB - TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 11/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. 5. 2011

.....

Vlastimil Hloušek

Pitínská 971, 687 71 Bojkovice

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

HLOUŠEK, Vlastimil.: *Sledování elektrického odporu odporové vrstvy inteligentního nástroje*. Katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2011, 45 s. Bakalářská práce.

Vedoucí: Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

Tato bakalářská práce se zabývá sledováním elektrického odporu odporové vrstvy VBD z řezné keramiky. V první části práce je zpracovaná teorie z oblasti řezné keramiky, opotřebení nástrojů a elektrického odporu. Ve druhé části je zpracován experiment. Ten potvrdil, že se zvyšujícím kritériem opotřebení roste elektrický odpor. Pokud se elektrický odpor zvýší o několik desítek ohmů lze usoudit, že VBD dosáhla hodnoty opotřebení a je potřeba ji vyměnit.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

HLOUŠEK, Vlastimil.: *Monitoring Electrical Resistance of Resistor Layer of Intelligent Tools*. Department of Working and Assembly, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2011, 45 p. Bachelor thesis.

Thesis head: Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

This thesis deals with monitoring the electrical resistance of the resistor layer of the insert cutting ceramics. The first part is treated the theory of the ceramic cutting, tool wear, and electrical resistance. In the second part of the experiment is processed. He confirmed that increasing the wear factor increases the electrical resistance. If the electrical resistance increases by several tens of ohms can be concluded that inserts reached wear and need replace it.

Obsah bakalářské práce:

1. Úvod	- 9 -
2. Řezná keramika	- 10 -
2.1 Historický vývoj	- 10 -
2.2 Rozdělení řezné keramiky	- 11 -
2.3 Výroba řezné keramiky	- 12 -
2.3.1 Obecný postup výroby keramických materiálů:	- 13 -
2.3.2 Výroba oxidové keramiky Al_2O_3	- 13 -
2.3.3 Výroba nitridové keramiky Si_3N_4	- 14 -
3. Opotřebení nástrojů	- 15 -
3.1 Základní opotřebení	- 15 -
3.2. Kritéria opotřebení	- 16 -
3.2 Typy opotřebení	- 18 -
3.3 Měření opotřebení	- 21 -
3.3.1 Přímé metody měření opotřebení	- 21 -
3.3.2 Nepřímé metody měření opotřebení	- 23 -
4. Elektrický odpor	- 27 -
5. Rozbor experimentu	- 29 -
5.1 Nástroj	- 29 -
5.2 Stroj a přístroje	- 30 -
5.2.1 Stroj	- 30 -
5.2.2 Měření elektrického odporu	- 31 -

5.2.3 Měření opotřebení	- 31 -
5.2.4 Záznamové zařízení	- 31 -
5.3 Obráběný materiál	- 32 -
6. Vyhodnocení experimentu.....	- 35 -
7. Závěr.....	- 43 -
7.1 Doporučení pro další zkoumání	- 44 -

Seznam použitého značení

HIP	vysokoteplotní isostatické lisování	[-]
KB	šířka žlábků	[mm]
KM	střední vzdálenost žlábků	[mm]
KT	hloubka výmolu na čele	[mm]
l	délka vodiče	[m]
M ₁	hmotnost destičky před otupením	[g]
M ₂	hmotnost destičky po otupení	[g]
R	odpor vodiče	[Ω]
R ₀	odpor vodiče při počáteční teplotě	[-]
S	průřez vodiče	[m ²]
VB	opotřebení na hřbetě	[mm]
VBD	vyměnitelná břitová destička	[-]
Al ₂ O ₃	oxid hlinitý	[-]
Si ₃ N ₄	nitrid křemičitý	[-]
SiC	karbid křemíku	[-]
TiC	karbid titanu	[-]
Y ₂ O ₃	oxid yttria	[-]
ZrO ₂	oxid zirkoničitý	[-]
ρ	rezistivita materiálu	[Ωm]
a _p	hloubka řezu	[mm]
f	posuv	[mm]
n	otáčky	[min ⁻¹]
v _c	řezná rychlost	[m.min ⁻¹]

1.Úvod

V dnešní době je ve většině strojírenských podnicích kladen důraz na efektivnost. Snaha udělat co nejvyšší výnos za co nejmenší náklady vede podniky ke stálému zdokonalování technologií. Nové technologie by měly být ekonomicky nenáročné. Vývoj řezných materiálů z řezné keramiky jde stále kupředu. VBD s nanesenou odporovou vrstvou je toho důkazem.

Řezná keramika je v dnešní době stále více používána díky svým vlastnostem (nízká cena, vysoká tvrdost). VBD z neoxidové keramiky s nanesenou odporovou vrstvou by se mohli stát dobrou volbou při soustružení. Má potenciál k většímu rozšíření. Tato metoda by se mohla stát díky své jednoduchosti dobrou volbou u bezobslužných obráběcích systémů. Rozšířením by se využívalo plné trvanlivosti VBD a tím by se zkrátily časy, které jsou potřeba pro kontrolu velikosti opotřebení. Zvýšený elektrický odpor v několika desítkách či stovkách ohmů, nebo jeho úplné nenaměření by znamenalo, že VBD je potřeba vyměnit. Tím by se začala využívat celá trvanlivost VBD a zmizely by časy, které vznikají při výměně ještě použitelné VBD.

2. Řezná keramika

Keramika je obecně charakterizována jako převážně krystalický materiál, jehož hlavní složkou jsou anorganické sloučeniny nekovového charakteru.

Pod pojmem řezná keramika rozumíme především špičky soustružnických nožů, fréz a vrtáků, které jsou osazeny řeznými destičkami a používají se hlavně při obrábění kovů. Hlavními vlastnostmi, které musí splňovat řezná keramika jsou tvrdost a houževnatost. Dříve byly řezné materiály vyráběny jen na bázi slinutých karbidů, TiC , WC a diamantu. Základem nové generace řezné keramiky je nitrid křemičitý Si_3N_4 a používané materiály jsou kompozitní, např. matrici tvoří 92 % Si_3N_4 , 6 % Y_2O_3 a 2 % Al_2O_3 , ve které je uloženo 30 % TiC . Používáním těchto materiálů lze zvýšit řezné rychlosti 2 – 3 x při jejich daleko vyšší odolnosti proti opotřebení. [1]

2.1 Historický vývoj

Během II. světové války vyvinula německá firma Degussa vůbec první keramický nástroj na bázi Al_2O_3 použitelný pro řezný nástroj. K většímu rozšíření však nedošlo, protože technologie nebyla propracovaná tak, aby byl sestrojen nástroj s požadovanými vlastnostmi. [2]

Na základě výzkumu byly na konci 50. let úspěšně uvedeny první keramické materiály na bázi oxidu hlinitého. Odstranily se hlavní nedostatky – hrubozrnná struktura, nízká ohybová pevnost, nízká odolnost proti teplotním rázům. První nástroje obsahovaly oxid hlinitý s malým podílem slinovacích přísad (většinou okolo 1 %). Oxid hlinitý má vysokou odolnost vůči opotřebení, nejlepší termochemickou stabilitu z nástrojových materiálů, ovšem má nízkou odolnost vůči vydrolování ostří. Avšak nedostatek výkonných strojů s potřebným rozsahem otáček bránil širšímu rozšíření řezné keramiky. [3]

Odolnost vůči vydrolování měly zlepšit keramiky typu $Al_2O_3 + TiC$, vyvinuty začátkem 70. let. Dnes se jedná o nejrozšířenější typ řezné keramiky. Začátkem 80. let se začaly dostávat na trh keramické nástroje na bázi Si_3N_4 . Tyto keramické nástroje lze použít až při dvojnásobné posuvové rychlosti oproti oxidickým keramikám. Nevýhodou je poměrně rychlé opotřebenění, zejména při obrábění ocelí a tvárné litiny. [2]

V polovině 80. let došlo k vývoji kompozitů Al_2O_3 vyztužených vlákny whiskery (SiC). Přidáním vláken karbidu křemíku se výrazně zvýší odolnost vůči vydrolení a vylamování ostří. Karbid křemíku však má tendenci reagovat se slitinami železa. Tato keramika se vyznačuje vynikajícími řeznými výkony při obrábění superslitin, kde je nebezpečí vylamování ostří. [3]

2.2 Rozdělení řezné keramiky

Keramické řezné materiály na výrobu vyměnitelných břitových destiček bývají zpravidla rozdělovány následovně:

Oxidická keramika je historicky nejstarším materiálem s relativně nízkou houževnatostí a odolností proti teplotnímu rázu, s vysokou odolností proti opotřebení a vynikající chemickou stálostí. Materiál se lisuje za studena buď běžným způsobem, nebo tzv. vakuovou extruzí (tlakem šneku přes tvarové ústí) a slinuje se při teplotách kolem $1600\text{ }^\circ\text{C}$. Je možné použít i lisování za tepla v grafitové formě, kdy při lisování dochází současně ke slinutí. [4]

Směsná oxidická keramika je tvořena směsí oxidu hlinitého Al_2O_3 a neoxidických materiálů TiC , TiN a dalších v objemu asi 20 - 40 %. Materiál má lepší tepelnou vodivost, odolnost proti tepelným rázům a vyšší pevnost v ohybu. Přísady totiž spolu s ZrO_2 absorbují energii v oblastech tahového napětí na čele trhliny, a tím zvyšují houževnatost keramiky. Destičky se vyrábí obvykle lisováním za tepla a mají charakteristickou černou barvu. [4]

Vyztužená keramika na bázi oxidu hlinitého je relativně novým výsledkem vývoje. Nazývá se také keramika zesílená wiskerem — název je odvozen od vláken krystalu, kterému se říká wisker. Tyto whiskery mají průměr pouze cca $1\text{ }\mu\text{m}$ a délku více než $20\text{ }\mu\text{m}$. Sestávají se z karbidu křemíku a mají velmi vysokou pevnost. Účinky tohoto vyztužení jsou mimořádné. Podstatně se zvýší houževnatost, pevnost v tahu, odolnost proti tepelnému šoku a současně také tvrdost zatepla a odolnost proti opotřebení. Jedná se o zcela nový řezný materiál, jehož vlastnosti se vymykají z dosud uváděných poznatků. Tento materiál je možné s ohledem na jeho vysokou mez pevnosti používat optimálně. Podíl wiskeru v řezném materiálu činí cca 30 %.

Lisováním zatepla se dosáhne v břitové destičce stejnoměrného rozptýlení wiskeru. Barva hotových destiček je zelená. Vyvážená tvrdost, houževnatost a odolnost proti tepelnému šoku charakterizují tento druh keramiky při obrábění žáruvzdorných slitin, kalené oceli, šedé litiny a zejména při obrábění přerušovaným řezem. [4]

Nitridová keramika na bázi nitridu křemíku Si_3N_4 byla po roce 1970 vyvinuta firmou Lucas ve Velké Británii. Z hlediska obrábění má vyšší lomovou houževnatost než směsná keramika, má výrazně vyšší tepelnou vodivost a nižší citlivost na tepelné rázy. Vzhledem k nižší chemické stabilitě není vhodná pro obrábění oceli. Slinutý nitrid křemíku je vyroben slinováním Si_3N_4 se zhutňovacími přísadami při teplotách 1600 – 1800 °C v dusíkové atmosféře o tlaku 1 - 10 MPa. [4]

2.3 Výroba řezné keramiky

Proces výroby kompaktních keramických součástí (a tedy i vyměnitelných břitových destiček pro řezné nástroje) je velmi podobný procesu výroby součástí ze slinutých karbidů a cermetů. Zásadní rozdíl je ale v tom, že keramické materiály neobsahují žádný materiál, jehož funkcí by bylo spojení jednotlivých zrn tvrdé fáze do jednolitého tělesa. Tato skutečnost výrobu řezné keramiky znesnadňuje a klade vysoké nároky na výrobní zařízení. Další důležitou podmínkou úspěšné výroby je dodržení všech předepsaných parametrů technologického postupu výroby. [3]

Vývoj mikrostruktury a slinovatelnost keramických materiálů je možno ovlivnit přidáním přísad. Tyto přísady v průběhu slinování vytváření kapalnou fází. Tímto způsobem lze dosáhnout hustějšího uspořádání částic a rychlejšího i lepšího zhutnění výrobku. Velikost zrn jednotlivých keramických prášků a aditiv se pohybuje kolem 200 nm. [3]

2.3.1 Obecný postup výroby keramických materiálů:

- příprava práškové směsi,
- mletí,
- míchání,
- tvarování,
- sušení,
- předslinování,
- slinování,
- úpravy povrchu.

2.3.2 Výroba oxidové keramiky Al_2O_3

Základní surovinou pro výrobu oxidové keramiky je oxid hlinitý Al_2O_3 , k němuž se přidává malé množství pomocných látek. Tyto látky mají usnadnit slinování a zabránit růstu zrn. Mezi přídatné látky obecně patří oxidy zirkonia, yttria, chromu, titanu, niklu, hořčíku, kobaltu a molybdenu i karbidy těžkovitelných kovů jako wolfram a titan. [5]

Po semletí mokré směsi se tato směs rozprašováním vysuší. Takto se získá prášek, který je schopen soudržnosti. Lisováním na automatických lisech se vytváří požadovaný tvar břitové destičky. Někdy jsou před lisováním přidány přísady, které snižují tření při lisování a zlepšují tečení. Lisování je prováděno na lisech s oboustranným tlakem, aby bylo dosaženo rovnoměrného zhutnění v celém průřezu. Keramické materiály je možno vyrábět též izostatickým lisováním. To spočívá v lisování pomocí hydrostatického tlaku kapaliny přes elastickou a kapalině nepropustnou stěnu tvarovacího pouzdra. Velmi často jsou destičky vyráběny vytlačěním tzv. extruzí tyčí, které jsou tvarovány podle budoucího tvaru břitových destiček. [5]

Po vylisování následuje slinování ve speciálních pecích. Tam, dochází ke spojení prášku do tuhého tělesa potřebného tvaru. Keramické materiály jsou předslinovány při teplotě $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ po dobu 2 hodin a potom následuje konečné slinování při teplotě $1550\text{ }^{\circ}\text{C}$ také po dobu 2 hodin, v obou případech za atmosférických podmínek. Dále je možné u keramických materiálů zlepšit vlastnosti metodou HIP. To je metoda izostatického vysokoteplotního lisování. [6]

2.3.3 Výroba nitridové keramiky Si_3N_4

Slinování tohoto druhu keramiky je při atmosférickém tlaku mnohem obtížnější než u slinování oxidové keramiky Al_2O_3 . Je to v důsledku nižší samodifuze a teploty rozkladu. Vyšší teploty sice mohou podporovat difuzní proces, ale teplota, která je potřebná k dosažení dostatečné difuze, je tak vysoká, že materiál se před slinováním začíná rozkládat. Proto je při výrobě řezné keramiky na bázi nitridu křemíku nutno obohacovat výchozí prášek slinovacími přísadami a aplikovat postup vysokoteplotního lisování nebo vysokoteplotního izostatického lisování (HIP). Slinovací aditiva vytvoří během ohřevu tekutou fázi, která podporuje zhutňování. Pokud má být výsledný produkt hutný, bez nespojených míst, je nutné, aby se v průběhu slinovacího procesu vytvářela kapalná fáze. Z tohoto důvodu se do výchozí směsi přidávají speciální přísady (oxidy kovů). Tato fáze během ochlazování ztuhne a její charakter a složení určují konkrétní soubor vlastností finálního výrobku. [5]

3. Opotřebení nástrojů

Opotřebení je běžným důsledkem funkce všech strojních součástí, které jsou ve vzájemném kontaktu a relativním pohybu. Při obrábění dochází v důsledku řezného procesu k relativnímu pohybu nástroj-obrobek a nástroj-tříska, i ke kontaktu nástroje s obrobkem (na hlavním a vedlejším hřbetě a špičce nástroje) a odcházející třískou (na čele nástroje), což musí nutně vést k opotřebení nástroje.

Proces opotřebení nástroje je velmi složitý děj, který závisí na mnoha faktorech (fyzikální a zejména mechanické vlastnosti obráběného a nástrojového materiálu, druh obráběcí operace, geometrie nástroje, pracovní podmínky, řezné prostředí, atd.) a v jehož průběhu působí mnoho odlišných fyzikálně-chemických jevů (mechanizmů opotřebení). [7]

3.1 Základní opotřebení

- **abraze** (brusný otěr vlivem tvrdých mikročástic obráběného materiálu i mikročástic uvolněných z nástroje),
- **adheze** (vznik a okamžité následné porušování mikrosvarových spojů na stýkajících se vrcholcích nerovností čela a třísky, v důsledku vysokých teplot a tlaků, chemické příbuznosti materiálů a kovově čistých styčných povrchů),
- **difúze** (migrace atomů z obráběného do nástrojového materiálu a naopak, a z ní vyplývající vytváření nežádoucích chemických sloučenin ve struktuře nástroje),
- **oxidace** (vznik chemických sloučenin na povrchu nástroje v důsledku přítomnosti kyslíku v okolním prostředí),
- **plastická deformace** (důsledek vysokého tepelného a mechanického zatížení, kumulovaného v čase), která se může ve svém nejnejpříznivějším důsledku projevit ve formě tzv. lavinového opotřebení,
- **křehký lom** (důsledek vysokého mechanického zatížení, např. přerušovaný řez, nehomogenity a vměstky v obráběném materiálu, atd.). [7]

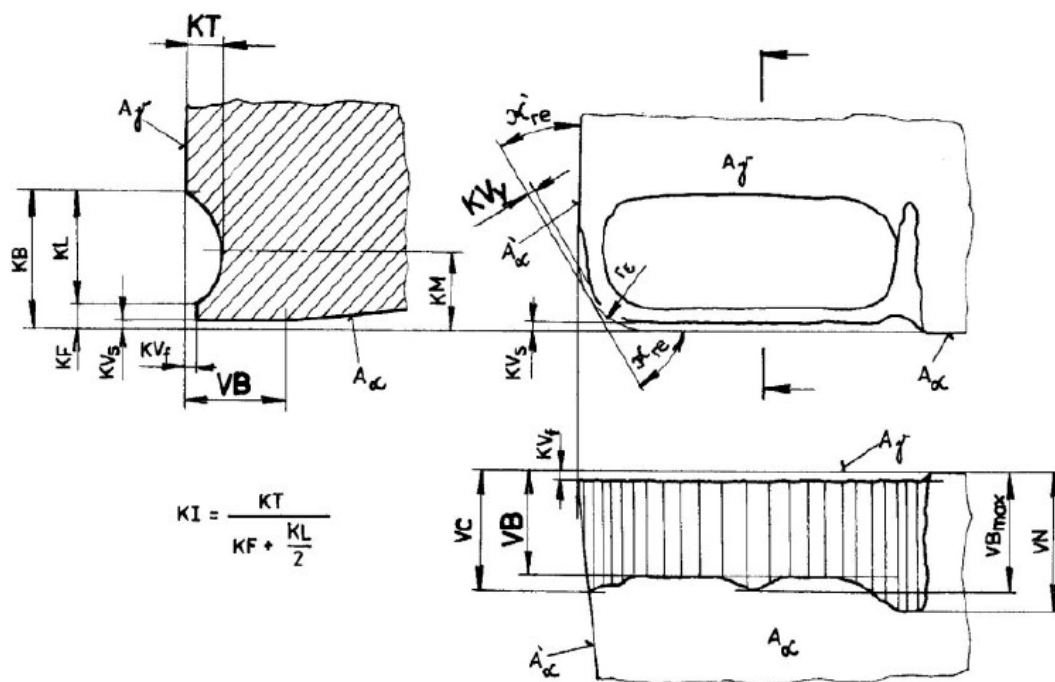
První dva mechanismy opotřebení jsou též obvykle označovány jako fyzikální, druhé dva jako chemické, všechny čtyři působí v průběhu času plynule, s tím, že časový okamžik začátku jejich působení nemusí být vždy shodný.

Plastická deformace a křehký lom jsou naproti tomu mechanismy, které působí náhle, v daném okamžiku a obvykle způsobí okamžité ukončení činnosti nástroje (náhlá změna tvaru břitu nástroje, lavinové opotřebení nebo ulomení špičky). Hřbet nástroje se opotřebovává především v důsledku abraze a oxidace, čelo v důsledku adheze, difúze, abraze a oxidace.

Na skutečnost, zda se nástroj bude více opotřebovávat na hřbetě nebo na čele (příp. na špičce), mají výrazný vliv i další faktory, jako je např. geometrie nástroje, druh operace (hrubování, dokončování) a v neposlední řadě i řezné podmínky (řezná rychlost, posuv, hloubka řezu a chlazení). [7]

3.2. Kritéria opotřebení

Kritéria, kterými je opotřebení kvantifikováno, jsou uvedena na obrázku č. 3.9 (nejčastěji užívaná kritéria, **VB** - šířka fazetky opotřebení na hřbetě, **KT** - hloubka výmolu na čele, **KV_y** - radiální opotřebení špičky, jsou zvýrazněna většími písmeny). Kritérium **KV_y** je významné zejména u dokončovacích operací, protože způsobuje změnu rozměru obrobené plochy. Označování jednotlivých kritérií odpovídá místním zvyklostem, které se poněkud liší od normy ČSN ISO 3685, která označuje kritéria opotřebení na hřbetě **VB_c** (**VC** na obrázku č. 3.9), **VB_B** (**VB**), **VB_{B max}** (**VB_{max}**) a **VB_N** (**VN**). [7]



Obr. 3.9 Kritéria opotřebení řezného nástroje [7]

VB – opotřebení na hřbetě,

VC – opotřebení v oblasti špičky nástroje,

VN – opotřebení ve formě vrubu,

VB_{max} – opotřebení maximální,

KT – hloubka výmolu na čele,

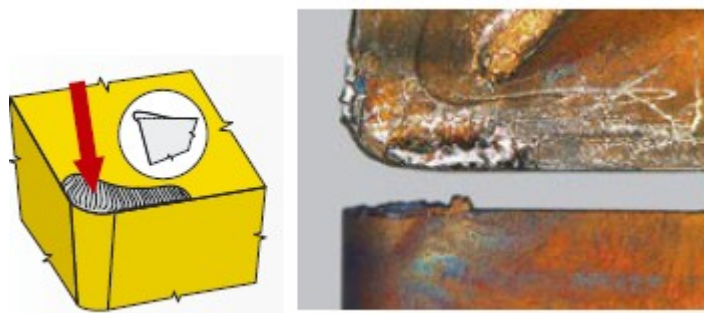
KF – vzdálenost výmolu od čela,

KM – střední vzdálenost výmolu,

KB – šířka výmolu.

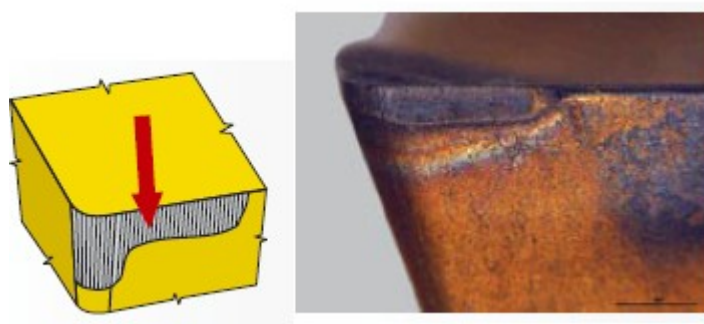
3.2 Typy opotřebení

Tvorba nárůstku (obr. 3.1) – jedná se o nalepování obráběného materiálu na břit nástroje. Nárůstek má charakter návaru na břitu. Při jeho odtrhávání může dojít ke křehkému porušení břitu nástroje. Tento jev je dále charakterizován snížením jakosti obráběného povrchu. Tvorbě nárůstku můžeme zabránit: zvýšením řezné rychlosti, zvýšit posuv, použít jinou řeznou geometrii.[8]



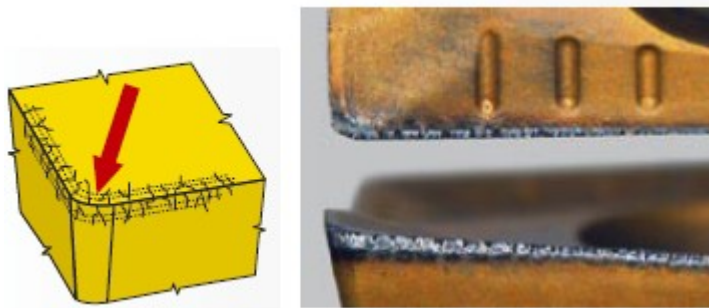
Obr. 3.1 Tvorba nárůstku [8]

Opotřebení hřbetu (obr. 3.2) – otěr hřbetu je jedním z hlavních kritérií charakterizujících trvanlivost vyměnitelných břitových destiček. Vzniká v důsledku styku nástroje a obráběného materiálu v průběhu řezného procesu. Jeho velikost lze pouze snížit. Opotřebením hřbetu lze zabránit: snížit řeznou rychlost, zvýšit posuv (v případě, že je posuv menší než $0,1 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$), zvýšit intenzitu chlazení. [8]



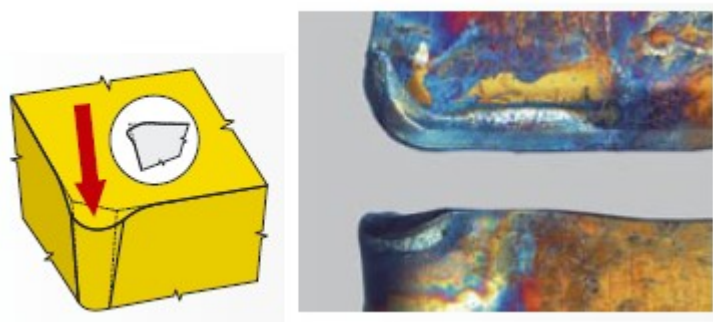
Obr. 3.2 Opotřebení hřbetu [8]

Hřebenovité trhliny (obr. 3.3) - tento jev je důsledkem dynamického tepelného zatížení při přerušovaném řezu. Opatření proti vzniku: upustit od chlazení kapalinou (možno použít vzduch z důvodů odstranění třísek z místa řezu), snížit řeznou rychlost. [8]



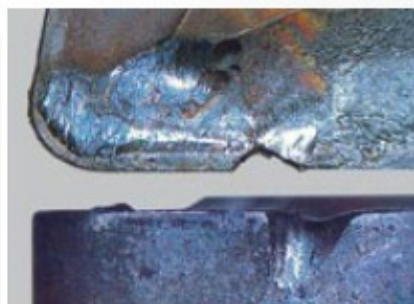
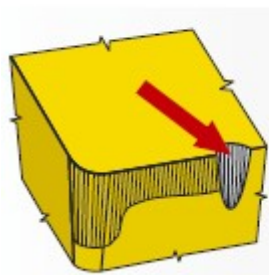
Obr. 3.3 Hřebenovité trhliny [8]

Plastická deformace břitu (obr. 3.4) - důvodem tohoto typu opotřebení je přetížení břitu v důsledku vysokých řezných teplot (tedy vysokých rychlostí a posuvů). Omezit vznik můžeme: snížením řezné rychlosti a posuvu, zvýšit intenzitu chlazení, použít VBD s větším úhlem špičky a větším poloměrem zaoblení špičky. [8]



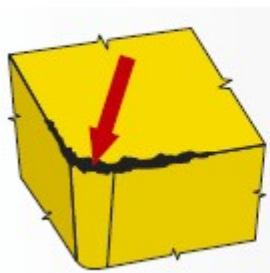
Obr. 3.4 Plastická deformace břitu [8]

Vrubové opotřebení na hlavním břitu (obr. 3.5) – vzniká v oblasti styku břitu nástroje s povrchem obrobku. Je zapříčiněno převážně zpevněním povrchových vrstev obrobku a otřepy. Tento typ opotřebení se vyskytuje zejména u nerezavějících austenitických ocelí. Mimořádně velké opotřebení ovlivňuje utvařecí třísky a může vést až k lomu destičky. [8]



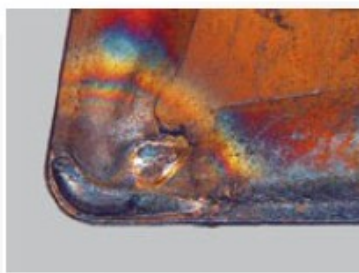
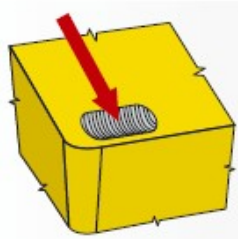
Obr. 3.5 Vrubové opotřebení na hlavním břitu [8]

Vydrolování ostří (mikrovyštipování) - (obr. 3.6) – ve většině případů se vyskytuje v kombinaci s jiným typem opotřebení, je samostatně obtížně identifikovatelné. Jeho příčinou bývá zejména nízká tuhost soustavy stroj-nástroj-obrobek nebo „tvrdé utváření“. Opatření proti vzniku: použít jinou řeznou geometrii, při najíždění do záběru zmenšit posuv, zvolit méně intenzivní řezné podmínky. [8]



Obr. 3.6 Křehké porušování řezné hrany [8]

Výmol na čele (obr. 3.7) – je to typ opotřebení, které se nejvýrazněji projevuje u VBD s rovným čelem. Při obrábění měkkých materiálů vzniká výmol širší a mělký naopak u tvrdých materiálů je výmol úzký a hluboký.



Obr. 3.7 Výmol na čele [8]

3.3 Měření opotřebení

Studium opotřebení a otupování břitů je základem pro určení empirických údajů pro optimalizaci řezných parametrů, resp. trvanlivosti břitů. Významná část výzkumu byla v poslední době zaměřena přímo na monitorizaci a měření opotřebení nástroje, protože stav výsledného obrobku plně závisí na stavu samotného nástroje. Důvodem pro tento výzkum je zavádění automatizovaných pružných výrobních systémů a adaptivní kontroly obráběcích strojů. Nevýhodami měření některých metod jsou negativní děje, které musí být překlenuty: [3]

- odchod třísek z místa řezu (navíjení na obrobek i nástroj, lámání, zničení nebo poškození snímače),
- procesní kapaliny,
- vibrace a chvění stroje,
- doba odezvy, která bývá poměrně dlouhá,
- nízká citlivost a měnící se fyzikální vlastnosti materiálu nástroje a obrobku,
- metody měření nejsou aplikovatelné pro měnící se podmínky řezání.

3.3.1 Přímé metody měření opotřebení

Přímé metody je těžké aplikovat v důsledku toho, že otupující se plochy jsou nedostupné pro měřicí přístroje. Pak je nutné obrábění přerušit, což ovlivňuje charakter otupení v dalších etapách experimentu. Kromě toho se ve většině případů nástroj snímá z nožového držáku, což přináší změny podmínek obrábění při dalším upnutí a ustavení. Mezi přímé metody patří: [3]

- metoda váhová (hmotnostní)
- metoda radioaktivních izotopů (radioizotopová)
- metoda mikrometrická
- metoda optická (stínová)
- metoda nanosené odporové vrstvy
- metoda pneumatická

Při váhové metodě jako míru opotřebení lze brát úbytek hmotnosti řezného břitů. Tuto metodu nelze použít přímo během procesu obrábění na obráběcím stroji, ale je poměrně přesná a váhový rozdíl určuje míru opotřebení. Nevýhodou je pokud se při obrábění tvoří nárůstek. Ten ulpívá na destičce a znemožňuje tak přesné určení

hmotnostního úbytku na nástroji. Lze ji však použít téměř výhradně u nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami se zřetelem na malé úbytky hmoty při otupování nástroje. [3]

$$\Delta M = M_1 - M_2 \quad (3.1)$$

ΔM – úbytek hmoty (g),

M_1 – hmotnost destičky před otupením (g),

M_2 – hmotnost destičky po otupení (g).

Metoda radioaktivních izotopů (radioizotopová) je nejcitlivější a nejpřesnější metoda určování váhového úbytku destičky v závislosti na čase. Umožňuje určit váhové úbytky v řádech až 10–3 mg. Využívá toho, že největší část opotřebovaného materiálu nástroje odchází třískou a jen zanedbatelné množství opotřebovaného nástrojového materiálu zůstává na obrobené ploše a neobrobené ploše místa řezu. Zcela minimální část materiálu nástroje odchází do ovzduší. [3]

Radioaktivním článkem je materiál nástroje. Aktivaci nástroje lze dosáhnout dvěma způsoby: [3]

- zavedením radioizotopu již při hutnickém procesu. Potom lze přesně stanovit specifickou aktivitu nástrojového materiálu a změnu aktivity v průběhu času.
- ozářením hotového nástroje proudem neutronů v reaktoru. Vznikne tak směs radioizotopových prvků tvořící nástrojový materiál.

Tato metoda sebou nese riziko zdravotního ohrožení a při práci a manipulaci je nutné dbát přísných bezpečnostních opatření a používat rukavic, manipulátorů a olověných zástěr a desek.

Při mikrometrické metodě je velikost opotřebení určována přímým měřením lineárních rozměrů. Zjišťujeme ji nejčastěji dílenskými mikroskopy s křížovým stolem. Hloubku žlábků měříme číselníkovými úchylkoměry, komparátory, a pod. Tuto metodu nelze použít přímo in real time při obrábění.

Optická (stínová) metoda se používá k měření hloubky žlábků. Umístíme-li ostrou hranu na čelo a osvětlíme ji paprskem světla pod úhlem 45°, pak vzdálenost tečny ke stínu je rovna hloubce žlábků **KT**. [3]

Další metodou, jež využívá na měření opotřebení vytváření stínů, je metoda založená na měření opotřebení na čele nástroje. Na tomto čele je difusorem vytvořena charakteristická mřížka, která je snímána prostřednictvím kamery, přičemž deformace

mřížky souvisí s vytvářením kráteru na čele nástroje. Na základě obrazu z kamery je možné vytvořit skutečný trojrozměrný obraz opotřebení čela nástroje. [3]

3.3.2 Nepřímé metody měření opotřebení

Metody nepřímé se opírají o některé znaky, které proces opotřebování doprovází a provádí se přímo při procesu řezání. Všechny tyto metody jsou pouze přibližné. Patří sem: [3]

- vznik lesklého proužku na povrchu obrobku,
- vzrůst složek síly řezání,
- zvýšení výkonu řezání,
- zvýšení teploty řezání,
- vznik chvění nebo nežádoucího doprovodného zvuku,
- změna barvy a tvaru třísky,
- změna rozměrů obrobku
- zhoršení drsnosti povrchu,
- emise signálů v pásmu ultrazvuku (akustická emise).

Optické metody se jeví jako slibné, ovšem spolehlivost může při praktickém použití činit velké problémy. [9]

Metoda založená na odrazu světla využívá určité množství světla ve světelném paprsku, které dopadá na ostří nástroje. Charakteristika odraženého světla pak závisí na stavu opotřebení povrchu nástroje [9]. Tato metoda je jednoduchá a dá se použít pro frézování a broušení.

Metoda zpracování odraženého paprsku založená na optické Fourierově transformaci k měření opotřebení povrchu brusného kotouče. Optický obrazec nese několik informací (šířku odlesku poškozených zrn, plochu poškozených zrn, velikost a počet zrn). Stav brusného kotouče lze určit v reálném čase ze střední plochy odlesku poškozených zrn.

Metoda využívající televizní kamery je určena především pro soustružení. Nástroj se po pracovním cyklu přemístí do testovací polohy před televizní kameru. Sejmутý obraz je analyzován pomocí mikroprocesoru tak, aby poskytl informace o poškození a velikosti opotřebení [9]. Nástroj je postupně osvětlován ze 4 stran (pod různými úhly), aby bylo možné zhotovit 3D obraz opotřebení nástroje. Z odlesků a

vržených stínů jsou pak vypočteny skutečné rozměry opotřebení. Takto lze hlídat, pokud zadáme předem kritéria, dovolené opotřebení nástroje.

Měření pomocí síly řezání a krouticího momentu - využívá skutečnost, že s rostoucí velikostí opotřebení roste obvykle i řezný odpor. Podstatou měření jednotlivých složek řezné síly a krouticího momentu je měření deformací, ke kterým dochází v soustavě stroj – nástroj – obrobek – přípravek během obrábění. Obě tyto veličiny lze měřit pomocí dynamometrů a krouticí moment též na vřeteníku.

Měření sil pomocí dynamometrů je pravděpodobně jednou z nejrozšířenějších veličin ve strojírenské výrobě. Pro měření osové síly lze použít tenzometry umístěné v kroužcích na ložiskách posuvových šroubů. Metoda je použitelná pro soustružení nebo vrtání umístěním snímacích kroužků do vřeteníku stroje.

Metoda měřící dynamickou složku řezné síly je zaměřena na spektrální analýzu síly. Hledá se určitá závislost mezi opotřebením nástroje a rozmístěním piků nebo amplitud dynamické složky síly řezání [9].

Měření výkonu slouží k určení řezných sil pomocí wattmetru nebo pomocí měření proudu. Metoda je málo citlivá na změny při kontinuálním opotřebením nástroje a je vhodná spíše pro určení katastrofického opotřebení nástroje.

Měření opotřebení při detekci mezery mezi nástrojem a obrobkem - je založeno na změně vzdálenosti mezi obráběným povrchem a bodem na ostří nebo držáku nástroje.

Metody dotykové využívají zde mechanického kontaktu s obráběným povrchem. Pomocí elektrického mikrometru, kdy je mechanický dotyk v kontaktu s obráběným povrchem ze strany ostří nástroje. Se zvětšujícím se opotřebením se dotyk přemísťuje a výstup z měniče dává údaje o opotřebením. Měření využívající vířivých proudů, v tomto případě je mechanický dotyk vyroben z karbidu wolframu (pro svou velkou otěruvzdornost).

Metody bezkontaktní

Pneumatická – využívá pneumatického snímače, který měří vzdálenost mezi tryskou, umístěnou pod ostřím a obráběným povrchem. Výhodou je, že stlačený povrch se očistí od procesní kapaliny.

Metoda ultrazvukového mikrometru – využívá času průchodu ultrazvukového pulsu vyslaného z vysílače, odraženého od obráběného povrchu a registrovaného přijímačem [9].

Metoda optického mikrometru – paprsek HeNe laseru je zaměřen na obrobený povrch pod určitým úhlem se odráží a je registrován fotodetektorem. Změna od nastaveného úhlu je proporcionální opotřebení nástroje [9].

Kapacitní metoda - mezi obrobek a nástroj se vkládá kovová destička. Při zapojení do jednosměrného napětí se vytvoří kondenzátor s konstantní kapacitou mezi nástrojem a destičkou a současně, protože nástroj a obrobek jsou vodivě spojeny třískou, kondenzátor mezi destičkou a obrobkem. Kapacita se mění v závislosti na změně rozměru obrobku.[9]

Měření prostřednictvím vibrací - spočívá na korelaci mezi vibracemi obráběcího stroje a opotřebením nástroje. Úspěšně byla aplikována pouze v laboratoři.

Pomocí akcelerometru - snímač tvoří většinou piezoelektrický akcelerometr snímající vibrace a samobuzené kmity. Nevýhodou je ovlivňování monitorovaného stroje okolními vibracemi a hlukem. Pokud změříme vertikální vibrace, lze z amplitudy nalézt limitní opotřebení nástroje. Pokud frekvence rozdělíme do diskrétních pásem, je možné analýzou získat spojitost mezi opotřebením nástroje a spektrem. Z modelování vibrací z akcelerometru lze registrovat signál citlivý na opotřebení umístěním snímače na držák nástroje.

Metoda využívající kyvadlo - opotřebení nástroje je oceňováno útlumem vibrací impulsně generovaných úderem kyvadlového kladívka. Vibrace jsou snímány tenzometry umístěnými na držáku nože. Výhodou je, že tato metoda není závislá na řezných podmínkách.

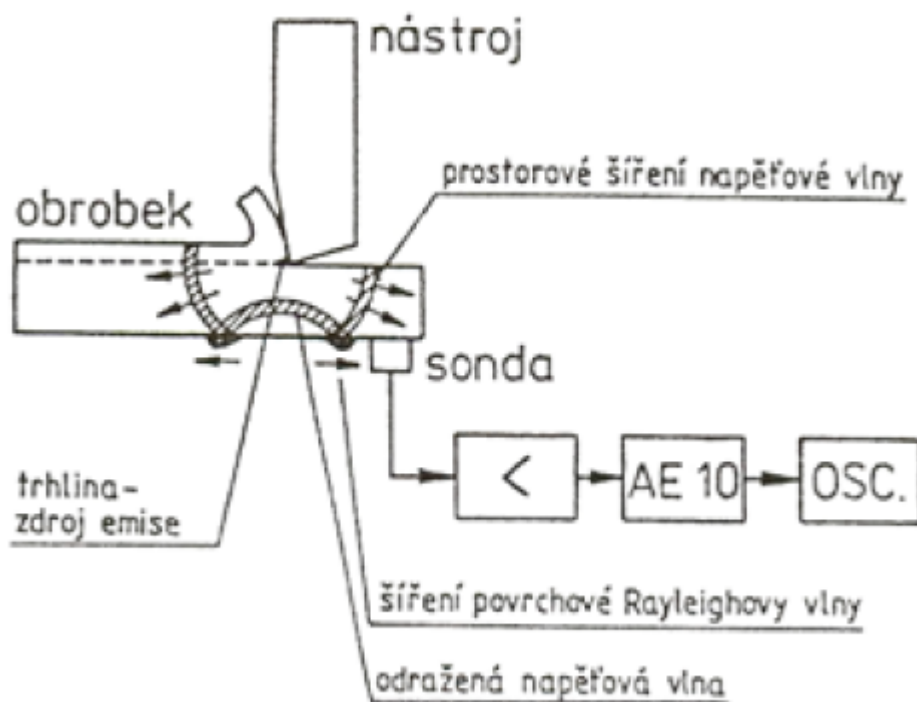
Metoda využívající kolísání otáček vřetene - opotřebení nástroje je identifikováno prostřednictvím oscilace řezné rychlosti, nebo otáček vřetene. Umožňuje identifikovat především lom nástroje na základě charakteristických projevů v signále případně frekvenčním spektrogramu.

Měření zvuku:

Pomocí akcelerometru - umístěného v blízkosti držáku jsou snímány zvukové vibrace od tření hřbetu nástroje. Získané frekvence jsou rozděleny na vysoké a nízké a jejich poměr poskytuje informaci o opotřebení nástroje [9].

Pomocí mikrofону - kdy jsou zvuky sbírány a analyzovány metodou spektrální analýzy. Na spektru se s růstem opotřebení začnou objevovat nárůstky amplitud některých frekvencí.

Měření akustické emise - jsou registrovány a vyhodnocovány ultrazvukové povrchové napěťové vlny, které nesou informaci o procesu probíhající v kořeni třísky. Výhodou je jednoduché umístění snímače (např. do trysky přívodu řezné kapaliny). (Obr. 3.8). [9]



Obr. 3.8 Schéma experimentálního zařízení na měření akustických emisí [9]

4. Elektrický odpor

Elektrický odpor je fyzikální veličina charakterizující schopnost elektrických vodičů vést elektrický proud. Elektrický odpor má vždy kladnou hodnotu. Dobré vodiče kladou malý odpor, špatné vodiče kladou velký odpor.

Elektrický odpor vodiče je přímo úměrný délce a nepřímo úměrný průřezu vodiče. Dále pak závisí na materiálu, ze kterého je vodič vyroben a teplotě vodiče.[11]

$$R = \frac{\rho l}{S} \text{ } [\Omega] \text{ - závislost odporu vodiče na rozměrech a materiálu} \quad (4.1)$$

Kde:

R je odpor vodiče $[\Omega]$

ρ je rezistivita materiálu $[\Omega\text{m}]$

l je délka vodiče $[\text{m}]$

a S je průřez vodiče $[\text{m}^2]$

Ohmův zákon - je to vztah mezi napětím a proudem při konstantním odporu.

$$R = \frac{U}{I} \text{ Odpor je konstantní poměr, mezi napětím a proudem.} \quad (4.2)$$

Ohmův zákon platí pro obvody s lineárním odporem. Odpory mohou být i nelineární, například vlivem teplotní závislosti odporu. Tudíž pro náš experiment ohmův zákon neplatí.

Odpor vodiče závisí na:

1. délce vodiče l (m)

Čím delší vodič, tím více srážek volných elektronů s atomy kovu = tím větší odpor.

2. průřezu vodiče S (m^2)

Čím větší průřez, tím méně volných elektronů prochází jednotkovým průřezem, tím méně je srážek s atomy kovu = tím menší odpor.

3. rezistivitě materiálu ρ (ρ) (Ωm)

Rezistivita – udává odpor vodiče o průřezu 1 m^2 na 1 m délky vodiče při teplotě 20°C .

Rezistivitu různých materiálů najdeme v matematicko-fyzikálních tabulkách. [11]

Závislost odporu vodiče na teplotě

Při zahřátí vodiče, dochází ke zvýšenému rozkmitu atomů kovu a tudíž i srážky volných elektronů s atomy jsou častější. To se projevuje, jako zvýšení odporu vodiče. Vliv teploty na odpor vodiče vyjadřuje takzvaný teplotní součinitel odporu.

$$R = R_0 (1 + \alpha \Delta t) \quad [\Omega] \quad (4.3)$$

R je odpor vodiče [Ω]

R_0 je odpor vodiče při počáteční teplotě [Ω]

α je teplotní součinitel odporu [K^{-1}]

Δt je rozdíl teplot [K]

Některé materiály mají kladný teplotní součinitel odporu a některé záporný:

Kladný teplotní součinitel odporu – odpor se vzrůstající teplotou roste (většina kovů má kladný teplotní součinitel). Všechny tři použité materiály při experimentu mají kladný teplotní součinitel, tudíž s rostoucí teplotou poroste i elektrický odpor.

Záporný teplotní součinitel odporu - odpor se vzrůstající teplotou klesá (uhlík a polovodičové materiály mají záporný α)

U silně podchlazených kovů s kladným teplotním součinitelem, při teplotách, které se blíží 0 K (tj. -273°C), náhle mizí jejich odpor. Jejich vodivost je obrovská a proto ji nazýváme **supravodivost**. [11]

5. Rozbor experimentu

Celý experiment probíhal na univerzálním soustruhu MAŠTROI TROJAN C11 MV(obr. 5.2), který se nachází v prostorách VŠB – TU Ostrava. Pro experiment byly použity 3 různé druhy oceli. U prvních dvou druhů ocelí (12 020 a 14 220) dosahovala VBD vysokou odolnost proti opotřebení. K rychlému opotřebení břitu došlo až u třetího materiálu (ocel 15 142). Volba řezné rychlosti byla omezena technickými parametry stroje. Snaha o dodržení konstantní řezné rychlosti nás vedla k soustružení menší řeznou rychlostí než je doporučena pro řeznou keramiku.

5.1 Nástroj

Na celý experiment byla použita VBD od firmy Kyocera (obr. 5.2). Tato VBD je z řezné keramiky KS6000 na níž je nanесena odporová vrstva. Odporová vrstva je navržena tak, aby bylo možno použít všech 8 břítů, aniž by došlo k jejich vzájemnému ovlivnění.



Obr. 5.1 VBD použitá při experimentu

5.2 Stroj a přístroje

5.2.1 Stroj

Univerzálním soustruhu MAŠSTROJ TROJAN C11 MV (obr. 5.2), který má dostatečnou tuhost pro experiment.



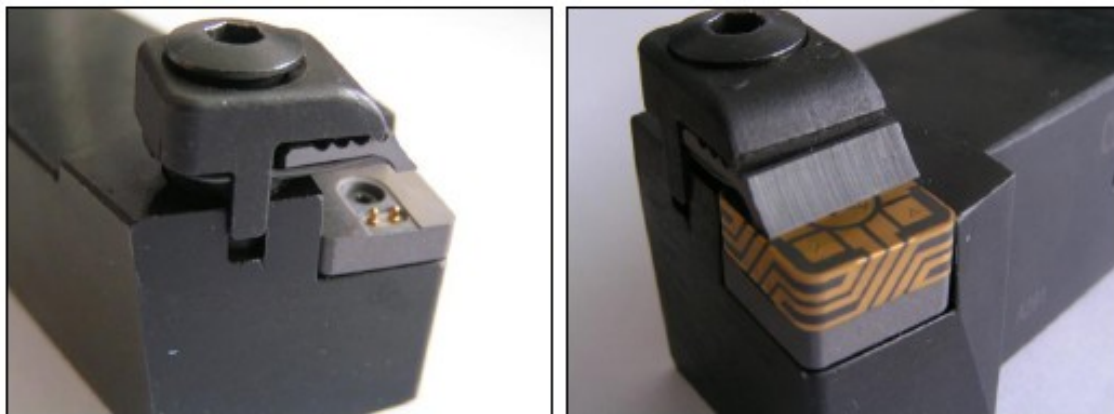
Obr. 5.2 Použitý stroj

Pracovní rozsah stroje:

Vzdálenost hrotů	1100 mm
Oběžný průměr nad ložem	500 mm
Oběžný průměr nad suportem	290 mm
Průměr sklíčidla	250/315 mm
Zdvih příčného suportu	270 mm
Zdvih podélného suportu	950 mm
Výkon hlavního motoru S1	15kW

5.2.2 Měření elektrického odporu

Břítová destička byla upnuta do speciálního držáku XCSRNR2525M-1207SEN (obr. 5.3), který vede elektrický signál tělem nože. Tento držák byl připojen k datalogeru ALMEMO 2590-4S (Obr. 5.5), který měří elektrický odpor v rozsahu 0-500 $[\Omega]$.



Obr. 5.3 Nožový držák s kontakty na přenos elektrického signálu [10]

5.2.3 Měření opotřebení

K měření opotřebení bylo použito mikroskopu s digitálním kamerovým snímacím od výrobce INTRACO Micro (obr. 5.4). Pomocí tohoto mikroskopu se měřila míra opotřebení VBD.



Obr. 5.4 Mikroskop INTRACO Micro

5.2.4 Záznamové zařízení

Měřená data jsou zaznamenána univerzálním datalogerem ALMEMO 2590-4S (obr. 5.5), který dokáže zaznamenat až 4 na sobě nezávislé veličiny. Měřené veličiny byly zaznamenávány po 30 setinách sekundy pomocí programu ALMEMO AMR-

Control 5.13, které byly ukládány s příponou txt. Tyto soubory byly poté pomocí programu ALMEMO 4.9 exportovány do programu Microsoft – Excel, kde byly vytvořeny veškeré grafy.



Obr. 5.5 Dataloger ALMEMO 2590-4S

5.3 Obráběný materiál

Materiál A – ocel 12 020

Ocel k cementování. Svařitelnost zaručena. Na méně namáhané součásti: čepy, pouzdra, šrouby, vačkové hřídele, ozubená a řetězová kola, lisované součásti, kalibry, velké výkovky, bezešvé trubky.

Tab. 5.1 Chemické složení oceli 12 020

C [%]	Mn [%]	Si [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Ni [%]	Cu [%]
0,13 - 0,2	0,6 - 0,9	0,15 - 0,4	0,04	0,04	max. 0,25	max. 0,3	0,3

Tab. 5.2 Mechanické vlastnosti oceli 12 020

Mez pevnosti Rm [Mpa]	Mez kluzu Re [Mpa]	Tvrdost HB max
205 - 850	205 - 390	141 - 245

Polotovar tvořila tyč $\varnothing D = 94 \text{ mm}$ a délce $L = 590 \text{ mm}$ (Obr. 5.6).



Obr. 5.6 Obrobený materiál A

Materiál B – ocel 14 220

Ocel je dobře tvařitelná za tepla, po žíhání na měkko i za studena, se zaručeným rozmezím prokalitelnosti. Je dobře obrobitelná. Je vhodná pro strojní součásti pro zušlechťení do $\varnothing 35 \text{ mm}$, k cementování s velmi tvrdou cementovanou vrstvou s velkou pevností v jádře (hřídele, ozubená kola, vačkové hřídele, zdviháky ventilů, pístní čepy, zubové spojky). Svařitelnost dobrá.

Tab. 5.3 Chemické složení oceli 14 220

C [%]	Mn [%]	Si [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]
0,14 - 0,19	1,1 - 1,4	0,17 - 0,37	max. 0,035	max. 0,035	0,8 - 1,1

Tab. 5.4 Mechanické vlastnosti oceli 14 220

Mez pevnosti Rm [Mpa]	Mez kluzu Re [Mpa]	Tvrdost HB max
785 - 1375	540 - 735	140 - 255

Polotovar tvořila tyč $\varnothing D = 94 \text{ mm}$ a délce $L = 570 \text{ mm}$ (Obr. 5.7)



Obr. 5.7 Obrobený materiál B

Materiál C – ocel 15 142

Ocel je dobře tvařitelná za tepla, ve stavu žíhaném na měkko dobře obrobitelná. Je vhodná pro povrchové kalení. Užívá se na velmi namáhané součásti strojní a součásti silničních motorových vozidel (hřídele a spojovací součásti).

Tab. 5.5 Chemické složení oceli 15 142

C [%]	Mn [%]	Si [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]
0,8 - 0,45	0,5 - 0,8	0,17 - ,37	max. 0,035	max.0,035	0,9 - 1,2	max. 0,5	0,15 - 0,3

Tab. 5.6 Mechanické vlastnosti oceli 15 142

Mez pevnosti Rm [Mpa]	Mez kluzu Re [Mpa]	Tvrdost HB max
500 - 900	750 - 1300	max. 255

Polotovar tvořila tyč $\varnothing D = 93 \text{ mm}$ a délce $L = 580 \text{ mm}$ (Obr. 5.8)



Obr. 5.8 Polotovar materiálu C

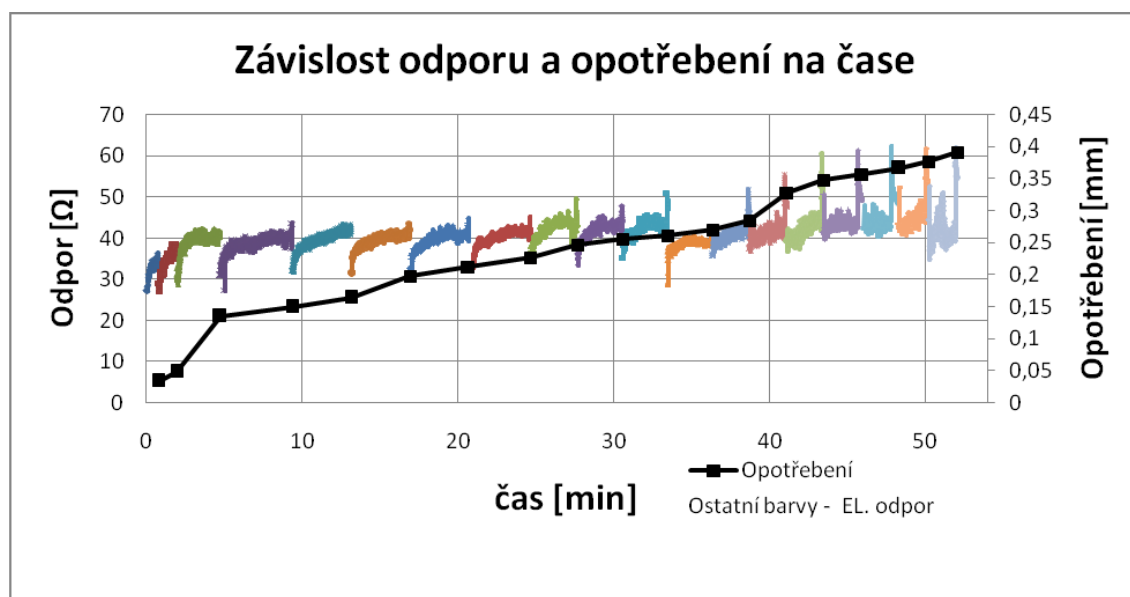
6. Vyhodnocení experimentu

Na prvních dvou testovaných materiálech (ocel 12 020 a ocel 14 220) se nedosáhlo potřebného opotřebení, které by vedlo k narušení elektrického obvodu na břitě VBD. Další pokračování experimentu u materiálu A a B nebylo umožněno z důvodu nedostatku materiálu. Kritická hodnota opotřebení byla změřena pomocí mikroskopu INTRACO Micro (obr. 5.4) $VB_{krit}=0,43$ mm. U materiálu C (ocel 15 142) došlo k rychlému opotřebení břítě č. 4. Pro lepší přehlednost byla do některých grafů vynesena také teplota, aby bylo lépe vidět, kdy přesně začal proces obrábění. Teplota se měřila na tříse pomocí optického pyrometru ve stejném intervalu jako odpor tj. 30ms. Všechny naměřená data a zpracované grafy jsou přiloženy na CD v souborech *.xls.

Materiál A – ocel 12 020

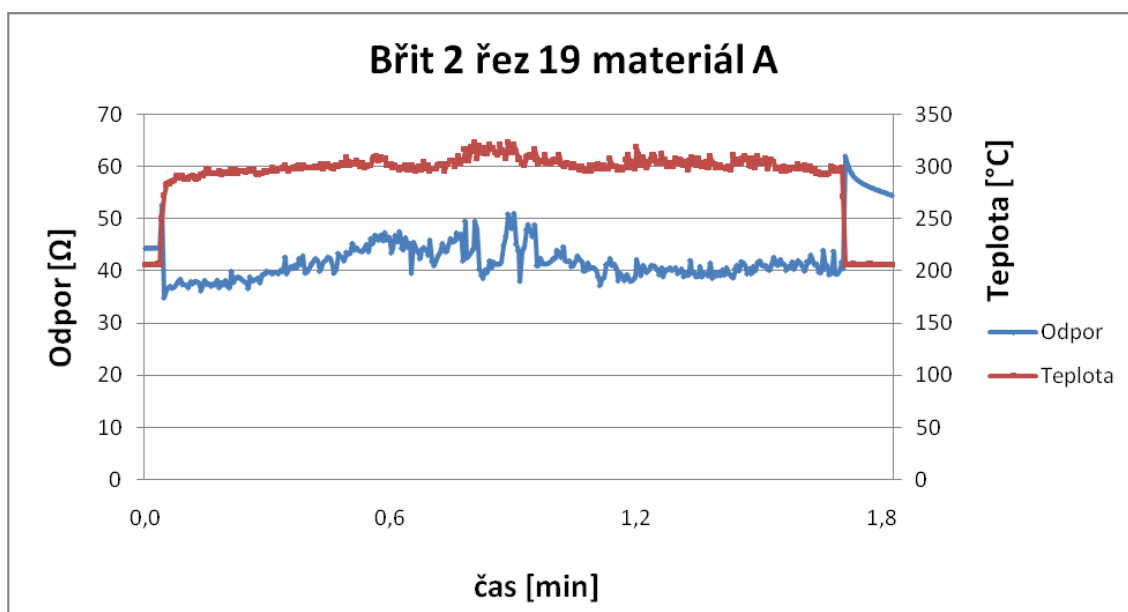
Na materiálu A bylo provedeno celkem 19 řezů břitem č. 2. Nástroj urazil 9,4 m a byl 52 minut v záběru. Z důvodu nedostatku materiálu nebylo dosaženo hodnoty opotřebení, které by vedlo k poškození nebo přerušení elektrického obvodu.

Na obr. 6.1 lze vidět průběh elektrického odporu při jednotlivých řezech. U prvních tří řezů ($L=84 - 355$ mm), které sloužily k zarovnání polotovaru na stejný průměr nenastávaly výkmity elektrického odporu po vyjetí nástroje z místa řezu. Ty nastaly až od čtvrtého řezu ($L=566$ mm). Zpočátku tyto výkmity nepřesahovaly 50 ohmů, ale jak se zvyšovalo opotřebení VBD a teplota materiálu, zvyšovaly se i výkmity, které překračovaly hranici 60 ohmů.



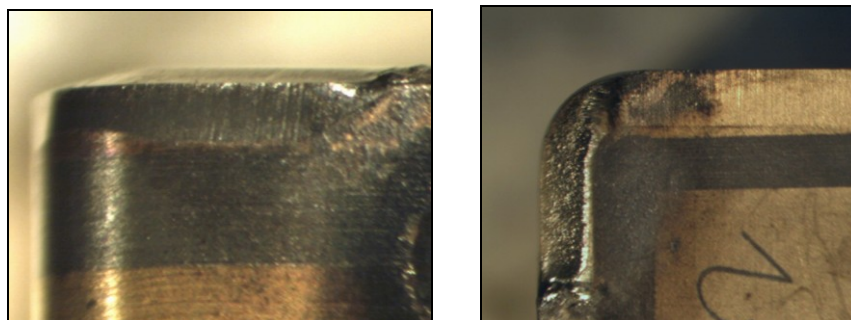
Obr. 6.1 Závislost odporu a opotřebení při jednotlivých řezech na čase
($v_c=236 - 188$ m.min⁻¹, $f=0,15$ mm, $a_p=2$ mm)

Na obr. 6.2 je záznam z měření břitu 2 řez 19, kde je vidět značný výkmit elektrického odporu. Způsobilo to zachvění obráběného materiálu zhruba v polovině obráběné délky. Odpor se měnil díky kolísání teploty odlétávající třísky a také kvůli různé velikosti plochy odporové vrstvy, která byla ve styku s obráběným materiálem, jak je popsáno v kapitole 4. Po ustálení teploty se ustálil i elektrický odpor.



Obr. 6.2 Záznam z měření břitu 2 řez 19 materiál A
($v_c 188 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f=0,15 \text{ mm}$, $a_p=2 \text{ mm}$)

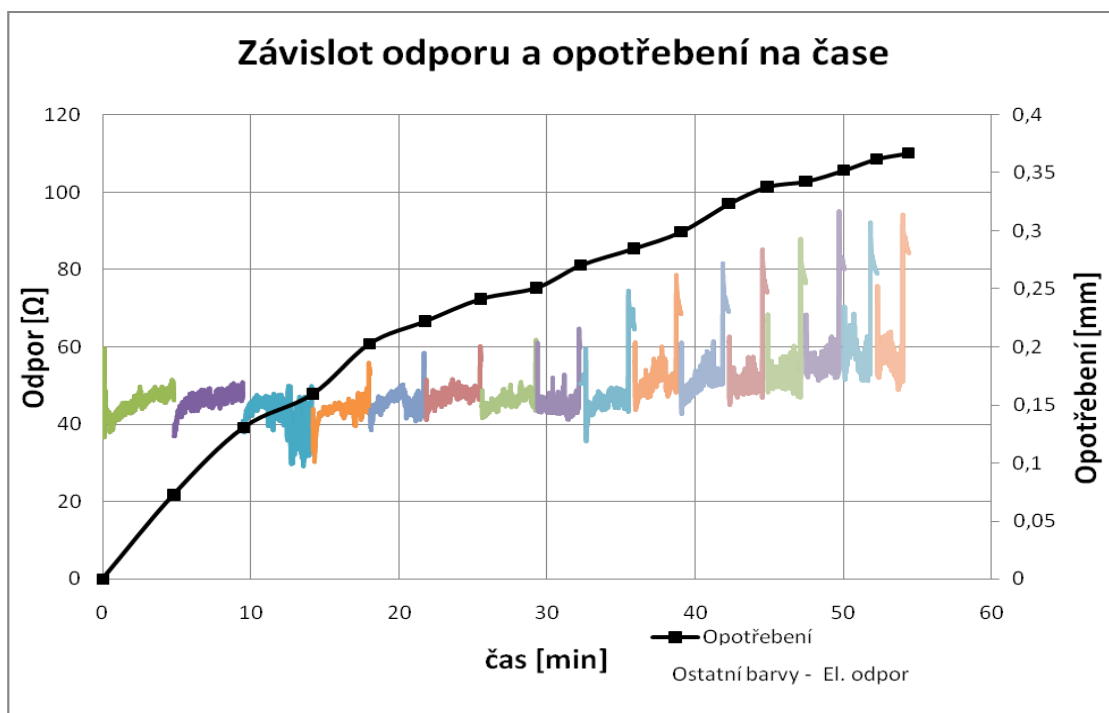
Na obr. 6.3 vlevo je vidět opotřebení na hřbetu nástroje $VB=0,39 \text{ mm}$ a proužek odporové vrstvy, který značí dovolené kritérium opotřebení. Toho se však nedosáhlo.



Obr. 6.3 Fotky opotřebení břitu č. 2 po ukončení obrábění materiálu A

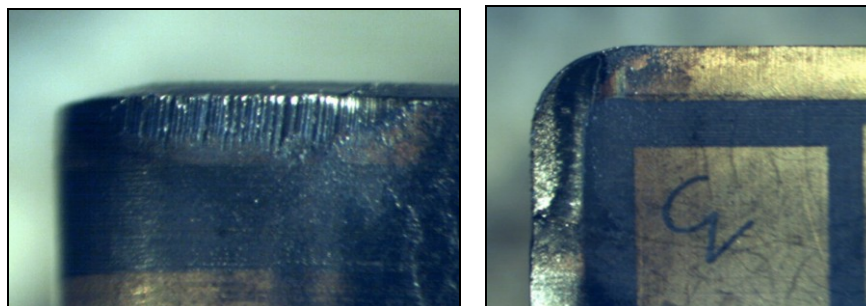
Materiál B – ocel 14 220

Experiment na materiálu B musel být ukončen ze stejného důvodu jako na materiálu A a to z důvodu nedostatku materiálu. Bylo provedeno celkem 16 řezů břitem č. 3. Nástroj byl 54 minut v řezu a urazil 8,9 m. Průběh elektrického odporu a velikost opotřebení lze vidět na obr. 6.4. Výkmity u posledních řezů dosahovaly hodnot převyšující 90 ohmů. Experiment s hranou č. 3 pokračoval na materiálu C.



Obr. 6.4 Závislost odporu a opotřebení při jednotlivých řezech na čase
($v_c=236 - 213 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f=0,15 \text{ mm}$, $a_p=2 \text{ mm}$)

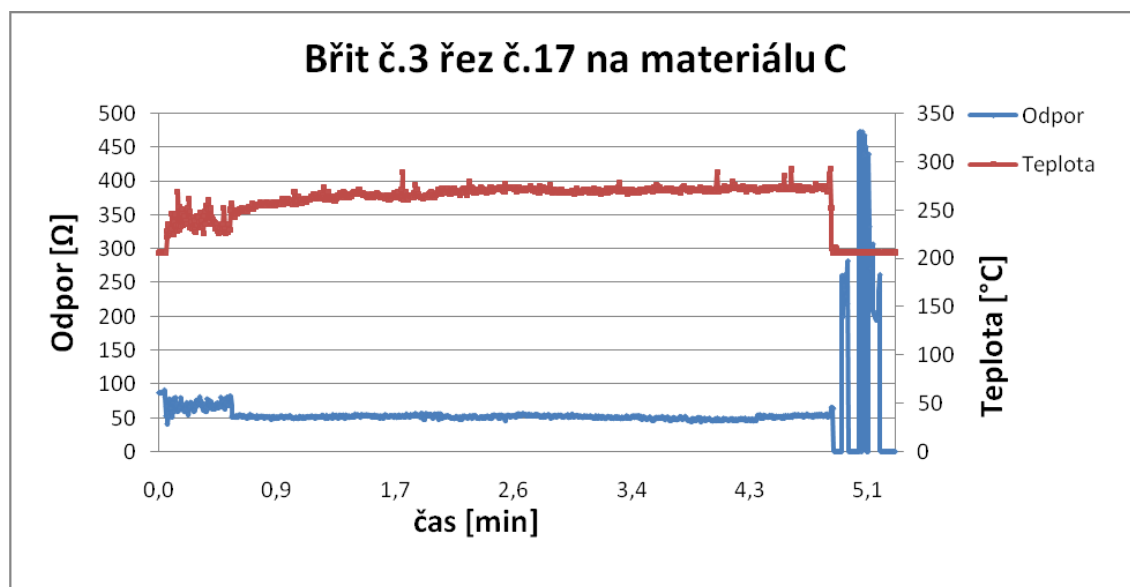
Na obr. 6.5 vlevo je vidět opotřebení na hřbetu nástroje $VB=0,37 \text{ mm}$. Na obr. 6.5 vpravo žlábek na čele nástroje. Snímky byly pořízeny po řezu č. 16.



Obr. 6.5 Fotky opotřebení břitu č. 3 po ukončení obrábění materiálu B

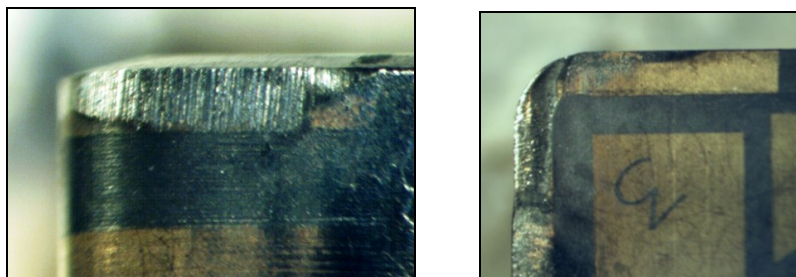
Materiál C – ocel 15 142

Na materiálu C se nejprve pokračovalo břitem č. 3, který byl použit na materiálu B. Na přerušení elektrického obvodu stačil pouze 1 řez. Záznam z měření je zobrazen na obr. 6.6. Elektrický odpor se po vyjetí z místa řezu pohyboval v řádech stovek ohmů, někdy nebyl dokonce vůbec změřen. V tuto chvíli bylo dosaženo kritické hodnoty opotřebení.



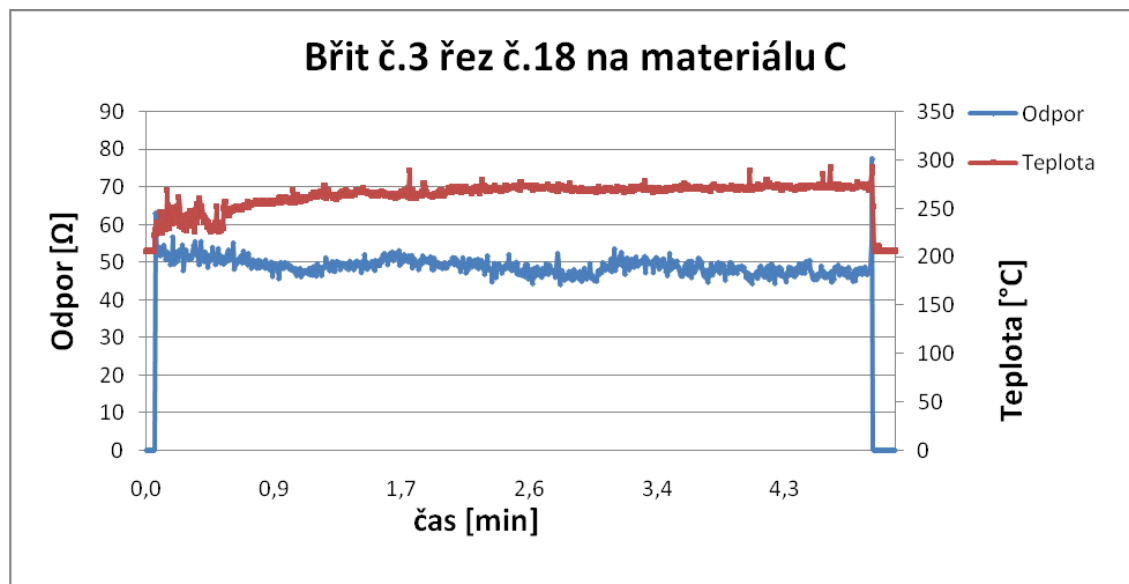
Obr. 6.6 Záznam z měření břitu č. 3 řez č. 17 na materiálu C
($v_c=234 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f=0,15 \text{ mm}$, $a_p=2 \text{ mm}$)

Velikost opotřebení z posledního řezu na materiálu B (ocel 14 220) bylo $VB=0,37 \text{ mm}$, po prvním řezu na materiálu C bylo $VB=0,44 \text{ mm}$, což už bylo za hranicí VB_{Krit} (obr. 6.7).



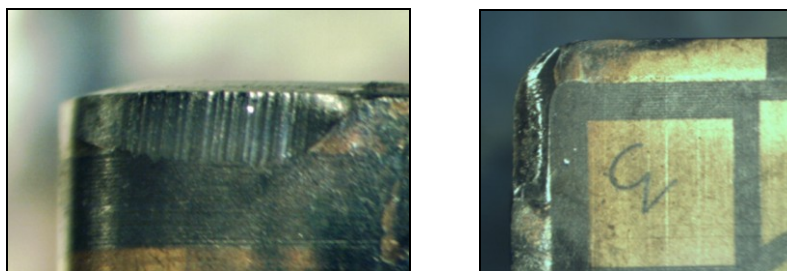
Obr. 6.7 Fotky opotřebení břitu č. 3 po řezu 17

Další řez byl proveden proto, aby se zjistilo, zda obrobek přenáší elektrický odpor při obrábění, i když už bylo dosaženo kritické hodnoty opotřebení. Elektrický odpor se po započetí obrábění ustálil na přibližně stejné hodnotě jako při předešlých řezích. **Z tohoto zjištění plyne, že přerušení elektrického obvodu a dosažení hodnoty opotřebení na VBD lze zjistit až po vyjetí z řezu.**



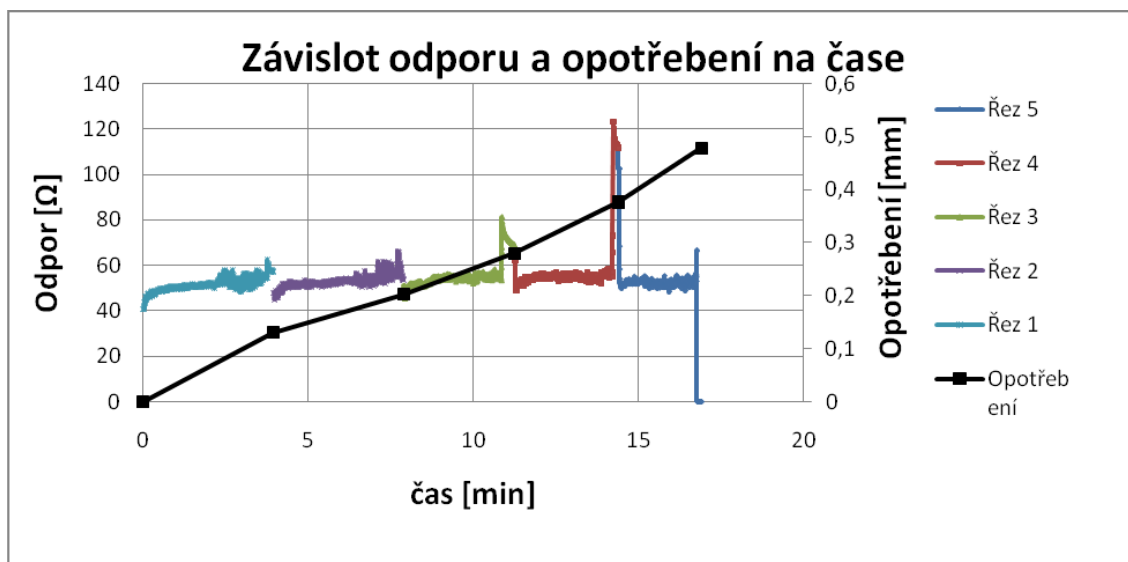
Obr. 6.8 Záznam z měření břitu č. 3 řez č. 18 na materiálu C
($v_c=223 \text{ m.min}^{-1}$, $f=0,15 \text{ mm}$, $a_p=2 \text{ mm}$)

Na obr. 6.9 vlevo je vidět opotřebení na hřbetu nástroje $VB=0,57 \text{ mm}$. Na obr. 6.9 vpravo žlábek na čele nástroje po dosažení kritické hodnoty opotřebení.



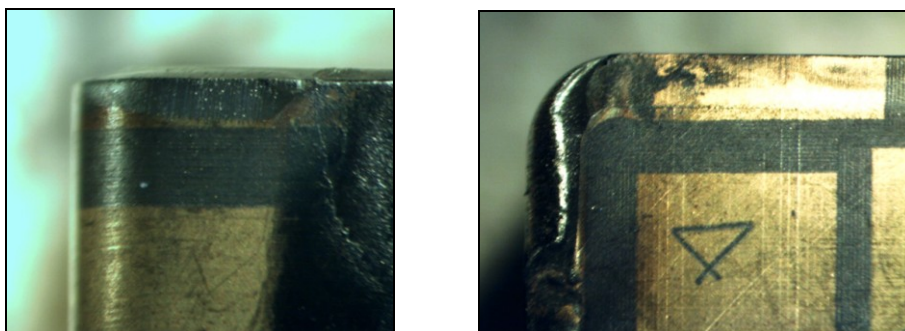
Obr. 6.9 Fotky opotřebení břitu č. 3 po řezu 18

Na materiálu C stačilo k přerušení elektrického obvodu pouhých 5 řezů břitkem č. 4. Po řezu číslo 5 už nebyl naměřen žádný elektrický odpor. Nástroj byl 16 minut v záběru a urazil dráhu 2,8m. Značný výkmit elektrického odporu po vyjetí nástroje z řezu byl zaznamenán po řezu č. 4.



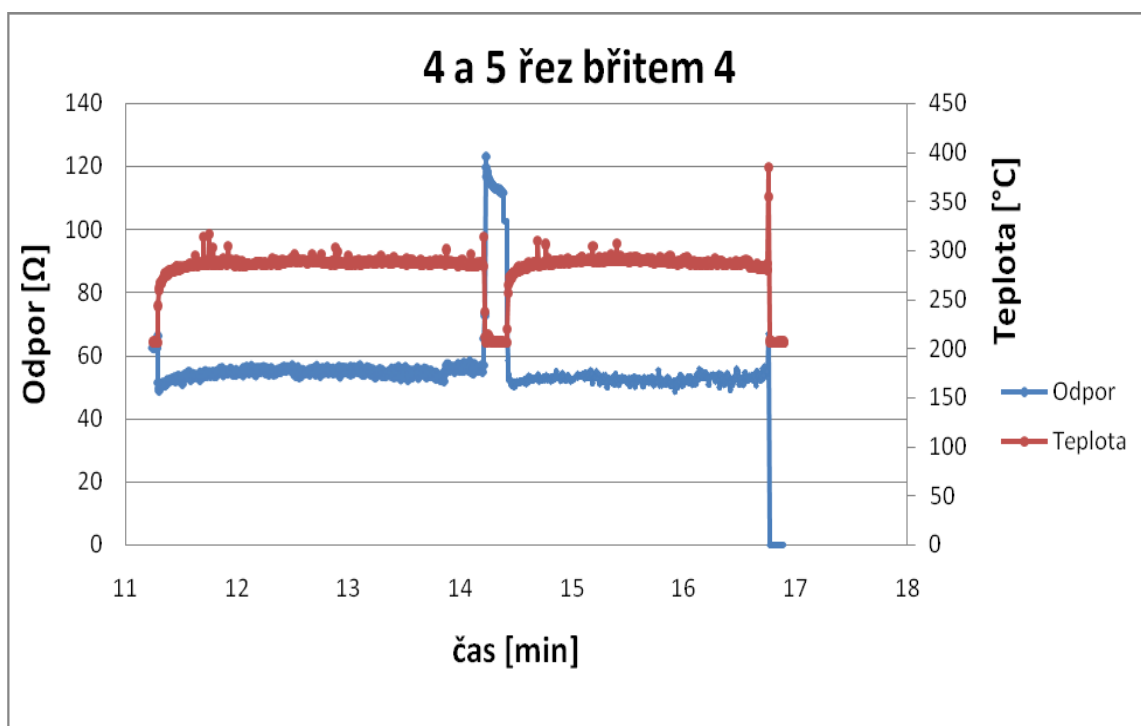
Obr. 6.10 Závislost odporu a opotřebení při jednotlivých řezech na čase
($v_c=242 - 256 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f=0,15 \text{ mm}$, $a_p=2 \text{ mm}$)

Na obr. 6.11 vlevo je vidět opotřebení na hřbetu nástroje $VB=0,38 \text{ mm}$. Na obr. 6.11 vpravo žlábek na čele nástroje.



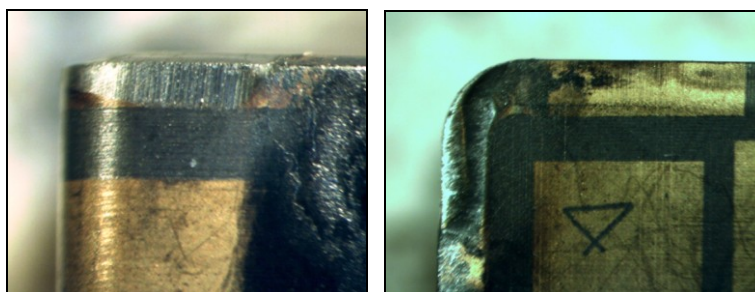
Obr. 6.11 Fotky opotřebení bříty č. 4 po řezu 5

Při čtvrtém řezu došlo k nárůstu opotřebení z původních $VB=0,28 \text{ mm}$ na $VB=0,38 \text{ mm}$. Po řezu č.5 bylo naměřeno opotřebení $VB=0,48 \text{ mm}$ a naměřen nulový elektrický odpor.



Obr. 6.12 Záznam řezů číslo 4 a 5 na materiálu C břitem 4
($v_c=256 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f=0,15 \text{ mm}$, $a_p=2 \text{ mm}$)

Na obr. 6.13 vlevo je vidět opotřebení na hřbetu nástroje $VB=0,48 \text{ mm}$. Na obr. 6.13 vpravo žlábek na čele nástroje.



Obr. 6.13 Fotky opotřebení břitu č. 4 po řezu 5

7. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo sledovat, jak se chová elektrický odpor na odporové vrstvě nanesené na VBD z nitridické keramiky. Kvůli nedostatečnému opotřebení ($VB_{krit}=0,43$ mm), které by mělo vliv na růst elektrického odporu muselo být použito tří materiálů.

U prvního materiálu C (ocel 12 020) se nepodařilo dosáhnout hodnoty opotřebení, které by mělo nějaký výrazný vliv na elektrický odpor. Bylo provedeno celkem 19 řezů hranou č. 2. Nástroj urazil 9,4 m a byl 52 minut v záběru při otáčkách nastavitelných na stroji ($n=800 - 2000 \text{ min}^{-1}$) a řezných podmínkách ($v_c=236 - 188 \text{ m.min}^{-1}$, $f=0,15 \text{ mm}$, $a_p=2 \text{ mm}$)

U druhého materiálu B (ocel 14 220) bylo provedeno celkem 16 řezů břitem č. 3. Nástroj byl 54 minut v řezu a urazil 8,9 m. Při nastavených řezných podmínkách ($v_c=236 - 213 \text{ m.min}^{-1}$, $f=0,15 \text{ mm}$, $a_p=2 \text{ mm}$) a otáčkách nastavitelných na stroji ($n=800 - 2000 \text{ min}^{-1}$) se nepodařilo dosáhnout takového opotřebení, které by se projevilo na větší změně elektrického odporu. Proto experiment pokračoval s hranou č. 3 na materiálu C. Z výsledků experimentu na prvních dvou materiálech lze doporučit VBD z nitridické keramiky pro obrábění těchto dvou materiálů.

Na materiálu C (ocel 15 142) se nejprve pokračovalo hranou č. 3, která byla použita na materiálu B (ocel 14 220). K dosažení hodnoty opotřebení stačilo jednoho řezu. Další řez touto hranou sloužil ke zjištění, zda obrobek přenáší elektrický odpor. Během řezu se elektrický odpor ustálil zhruba na stejné hodnotě jako při předešlých řezech. Z tohoto zjištění plyne, že přerušení elektrického obvodu a dosažení hodnoty opotřebení na VBD lze zjistit až po vyjetí z řezu. Na tomto materiálu pokračoval experiment novou hranou č. 4. Na přerušení odporové vrstvy stačilo pouhých 5 řezů. Nástroj strávil v řezu 16 minut a urazil dráhu 2,8m při řezných podmínkách ($v_c=242 - 256 \text{ m.min}^{-1}$, $f=0,15 \text{ mm}$, $a_p=2 \text{ mm}$).

Z dosažených výsledků experimentu lze potvrdit možnost využít VBD s nanesenou odporovou vrstvou k zjišťování dosažení kritéria opotřebení a to na všech třech testovaných materiálech.

7.1 Doporučení pro další zkoumání

Testování odporové vrstvy je velmi rozsáhlé téma. Proto lze toto téma doporučit pro další zkoumání.

Doporučení:

- Testovat VBD s odporovou vrstvou na jiných materiálech
- Testovat VBD s odporovou vrstvou při použití procesní kapaliny
- Objasnit výkmity, které vznikají při vyjetí nástroje z řezu

Použitá literatura:

- [1] Kratochvíl B., Švorčík V., Vojtěch D. *Úvod do studia materiálů*. Praha: VŠCHT Praha 2005, 190s. [citováno 13. ledna 2011]. Dostupné z WWW: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-568-4/pages-img/047.html
- [2] HUMÁR, A. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. Brno: CCB, 1995. 256 s. ISBN 80-85825-10-4.
- [3] BRYCHTA, J., ČEP, R., NOVÁKOVÁ, J., et al. *Technologie II : 1. díl*. 1. vyd. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava 2007. 126 s. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [4] MRKVICA, Ivan. *Návody ke cvičení z obráběcích strojů 1. část*, VŠB TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, Ostrava 2006, 148 s., ISBN 80-248-1053-0
- [5] ČEP, Robert. *Zkoušky nástrojů z řezné keramiky v podmínkách přerušovaného řezu*: Disertační práce. Ostrava: FS VŠB-TUO, 2005, 101 s.
- [6] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno: MM Publishing Praha, 2008, 235s. ISBN 978-80-254-2250-5.
- [7] HUMÁR, Anton; FOREJT, Milan; PÍŠKA, Miroslav. *Experimentální metody : syllabus* [online]. Brno : [s.n.], 2003 [citováno 11. prosince 2010]. Dostupné z WWW: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/experimentalni_metody__cviceni__forejt_piska_humar_janicek.pdf.
- [8] *Katalog soustružení Pramet*. Šumperk : Pramet Tools, s.r.o., 2010. 328 s
- [9] ŽIŽKA, J.: *Použití akustické emise ke sledování stavu řezného nástroje*. Liberec: TU Liberec, 2003. 106. s
- [10] KRATOCHVÍL, Jiří. *Metodika sledování opotřebení keramických nástrojů pomocí odporových vrstev během řezu*. Ostrava, 2010. 118s. Disertační práce. VŠB-TU Ostrava. Školitel: doc. Ing. Vladimír VRBA, CSc.
- [11] FUKA, J., HAVELKA B.: *Elektřina a magnetismus*. NČSAV Praha 1956. 142s.
- [12] KOČMAN, K.; PROKOP, J. [i] *Technologie obrábění*. [i] Brno : Akademické nakladatelství CERM s.r.o. Brno. 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [13] VASILKO, K.; NOVÁK-MARCINČIN, J.; HAVRILA, M. [i] *Výrobné inženýrstvo*. [i] Prešov : Datapress Prešov. 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
- [14] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. [i] *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní*. [i] Žilina : EDIS Žilina, 2007. s. 343. ISBN 978-80-8070-711-8.